

小型垂直軸型風力発電機の開発

～エネルギーの地産地消を目指して～

山形県立山形工業高等学校

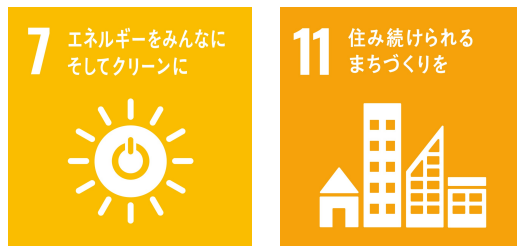
電気電子科 多田 琴・遠藤 嶺斗

指導者 吉田 幸宏

研究背景

私たちは、これまで電気電子科の授業でエネルギーの大切さを学んできた。二年生の授業でSDGsを意識し、環境にもやさしく住み続けられる街にするには、ものづくりを通して電気をどのようにしていったらよいのかを考えた。

電気は発電所から送電され、私たちの家庭に届くまで多くの電力損失がある。そこで、自分の家で再生可能エネルギーを使って発電、消費することでエネルギーの損失を抑えることができると考えた。そしてこれは、SDGsの「7. エネルギーをみんなにそしてクリーンに」と「11. 住み続けられるまちづくりを」に貢献できるのではないかと考えた。



(a) SDGs07

(b) SDGs11

図1 SDGsのアイコン

最近では、ここ山形市でも太陽光パネルがのっている家も増えてきたように思う。しかし、太陽光パネルは高価であり、私たちではなかなか簡単に設置できない。そこで、自転車のハブダイナモを利用した小型風力発電機の製作を行った。山形市は年間を通してあまり風が強くなく、風向も一定でないので、それでも回りやすい風車を作りたいと考えた。水平型風車では風向に合わせて回転するように作らなければならない、その機構のいらない垂直軸型風車の製作を行うことにした。

現状分析と課題

山形県内の主な風力発電所は酒田市（JRE 酒田風力発電所）と庄内町（ウインドーム立川）にある。

気象庁では山形県内の様々な気象データを公開している。このデータのうち、風力発電所近くの酒田（JRE 酒田風力発電所）と狩川（ウインドーム立川）、そして、私たちの学校がある山形の平均風速と最大風速を過去10年分（2010年～2019年）調査した。

表1 平均風速と最大風速の比較

年	平均風速 [m/s]			最大風速 [m/s]		
年	酒田	狩川	山形	酒田	狩川	山形
2010	4.1	3.7	1.6	16.4	17.1	8.9
2011	3.9	3.8	1.7	14.9	15.3	9.2
2012	4.4	3.9	1.8	25.0	21.0	11.9
2013	4.3	4.0	1.9	18.1	21.0	9.4
2014	4.4	3.9	1.8	16.6	17.6	8.9
2015	4.3	4.1	1.8	17.9	18.0	9.1
2016	4.2	3.8	1.9	18.1	17.6	9.5
2017	4.3	3.9	1.9	18.3	23.3	9.5
2018	4.2	3.8	1.9	21.6	19.6	12.3
2019	4.3	3.9	1.9	16.3	16.8	10.3

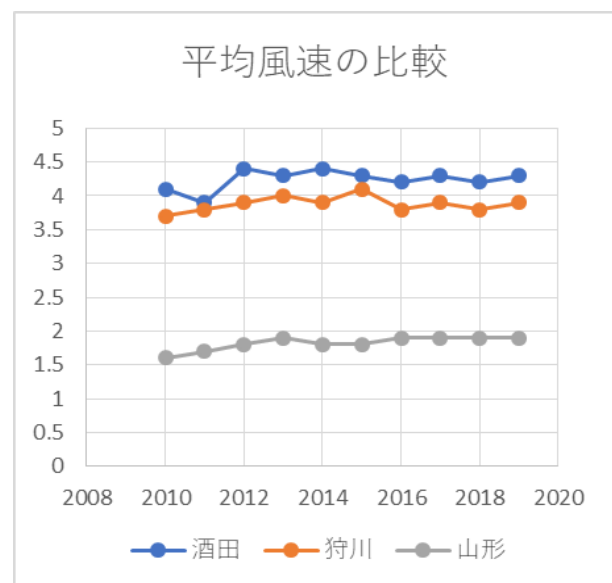


図2 平均風速の比較

この表やグラフから山形の平均風速と最大風速は、酒田や狩川と比べると約半分くらいであ

る。また、実際に大型の風力発電機を設置するには平均風速が4.0[m/s]程度必要なことがわかった。

山形で風力発電機を使って発電するには、約2.0[m/s]の風速でも回転する羽根を考えなければならぬ。また、12.0[m/s]程度の風速に耐えられるようにしなければならない。

新たな発想内容

私たちは、風速が低くても回りやすい垂直軸型風車の中から、パドル型とクロスフロー型に着目した。

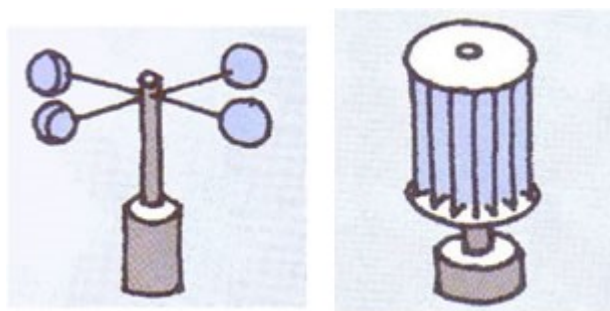


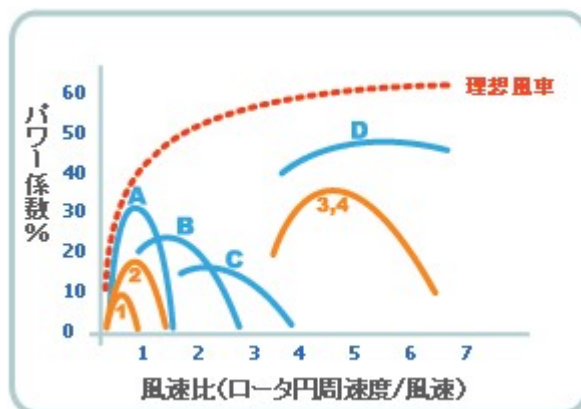
図3 パドル型(左)とクロスフロー型(右)

パドル型は風杯に風が当たると、凸面よりも凹面の方が空気抵抗が大きいため、凹面が押される方向に軸が回転する。回転の有無及び回転数が風向に依存しないため、風の変化に対する応答性が高いのが長所である。

クロスフロー型は、細長い湾曲状の羽根を、上下の円板外周縁部に適度な角度を付けて等間隔に多数設け、外部の風が羽根の隙間から内部空洞部を貫流して、反対側(風下)の羽根の隙間から外部へ排出しつつ、一定方向に回転する風車です。風に対しては無指向性で、全方位からの風を受けて回転する。また、前方から風が来たとき、左半分の風は風車を回転する方向に有効作用するが、右半分の風は回転方向運動に抵抗作用となり、起動トルクが大きいという特徴がある。

今回私たちは、起動トルクが大きいクロスフロー型と風の変化に対する応答性が高いパドル型を組み合わせで製作した。これで、低い風速から回転でき、風速の変化に応じて素早く反応して回転速度が変化する風力発電機ができるのではないかと仮説を立てた。微風でも回ることができれば、山形だけでなく、平均風速が低い他の地域でも利用することが期待できる。

図4に各種風車の特徴を示す。



- 1: クロスフロー型 A: 多翼型
2: サボニウス型 B: セイルウィング型
3: ダリウス型 C: オランダ型
4: ジャイロミル型 D: プロペラ型

図4 各種風車の特徴

風車の製作

羽根について

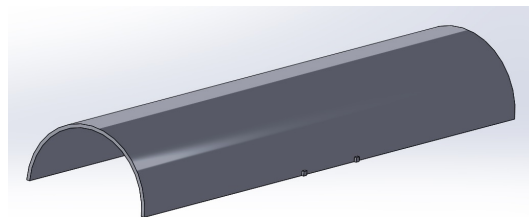


図5 羽根

使用した資材

ホッカボイドφ150:北海道紙管(株)

サイズ

長さ:600[mm], 外径:155[mm], 厚さ:4[mm]

羽根の取り付け部分について

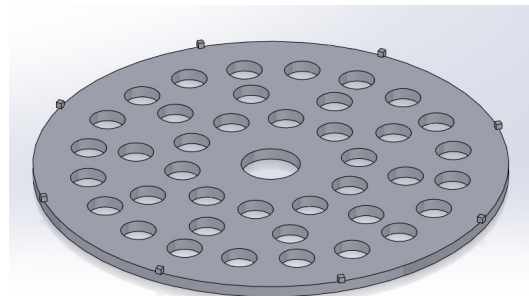


図6 アタッチメント

使用した資材

木材

サイズ

板の直径:400[mm], 穴の直径:31[mm]

ハブダイナモについて



図7 ハブダイナモ

ハブダイナモの規格

SHIMANO: Nexus DH-2N30-J

電圧:6[V], 電力:2.4[W]

ハブダイナモとは

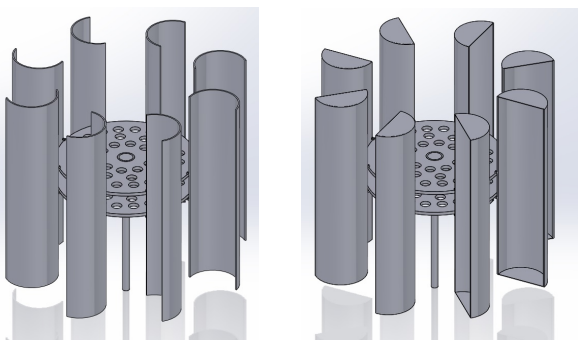
ハブダイナモは、ランプを点灯させるために自転車の前輪についている部品である。特徴として摩擦抵抗力が少なくスムーズな回転で発電する。今回の目的である微風での発電には向いていると考えられる。

羽根の取り付け

L字型アングルを利用し、ボルトとナットで板に等間隔に取り付けた。



図8 L字型アングル



(a) カバーなし

(b) カバー付き

図9 3D-CADによる風力発電機的设计

風車のモデルを 3D-CAD を使用して製作した。実際には、手作業だけの製作であり、精度を出すことが難しかった。



(a) カバーなし



(b) カバー付き

図10 完成した風力発電機

新たな発想内容の評価結果

実験方法

本実験では以下の項目について実験を行った。

- ・風速による発電量の測定。
- ・羽根の枚数による発電量の測定。
- ・羽根のカバーの有無の発電量の測定。

実験の条件

- ・扇風機と風車の距離を 1800[mm] 配置。
- ・扇風機の風速が一定になるように各風速を単巻変圧器により調整し、電圧値で定めた。
- ・パソコンを使用し、画面表示の最大電力を 1[W]、測定時間を 60 秒に設定し、平均電力の測定を行った。
- ・計測を行う部屋は密閉空間とした。



図 11 実験風景

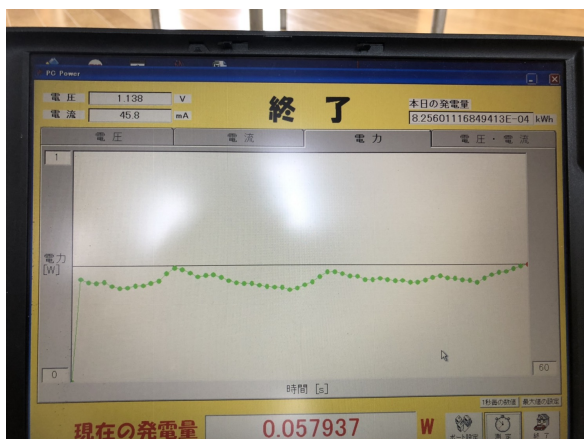


図 12 パソコンの表示 1

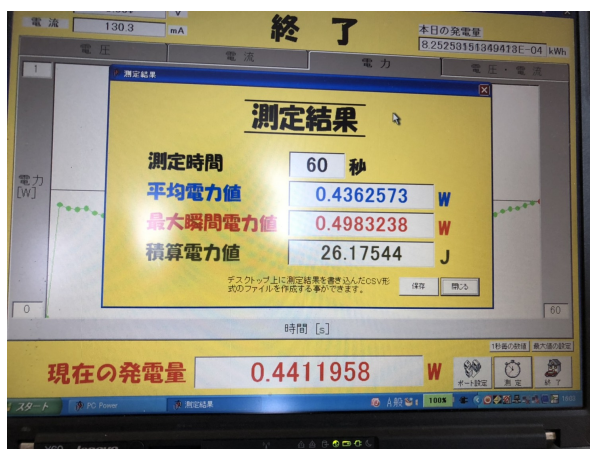


図 13 パソコンの表示 2

使用器具

扇風機：鯛勝株式会社 HA-600 型

デジタルテスタ：SANWA ELECTRIC INSTRUMENT

単巻変圧器：山菱電機

交流電圧計：YOKOGAWA ELECTRIC WORKS LTD

パソコン：IBM ThinkPad

計測用ソフト：PC Power ver2.0

(高知工科大学エネルギー教育用電力計算ソフト)

実験結果

表 2 カバーなし羽根の平均電力

	カバーなし羽根 枚数による平均電力[mW]		
風速[m/s]	2枚	4枚	8枚
1	0.00	0.00	1.70
2	0.04	2.00	35.03
3	0.21	14.59	69.33
4	13.49	59.48	255.92
5	31.18	87.82	351.09

表 3 カバー付き羽根の平均電力

	カバー付き羽根 枚数による平均電力[mW]		
風速[m/s]	2枚	4枚	8枚
1	0.00	0.02	2.29
2	0.30	4.72	39.80
3	0.75	19.88	129.89
4	22.37	102.37	300.19
5	39.82	105.16	448.88

まとめ

私たちはエネルギーの地産地消を目指しているため、本来ならば山形の最高風速 12[m/s] まで測定を行いたかったのだが、扇風機の能力が不足していたため、風速 1[m/s]～5[m/s] までの平均電力[mW]を計測した。

パドル型もクロスフロー型も、羽根の上下には風が逃げていく構造ではなかったが、製作の過程で羽根の上下に風を逃がした場合（カバーなし）と逃がさない場合（カバー付き）では、どのように発電電力に差が出てくるのだろうか」と疑問を持ち、この違いも比較することにした。実験結果では、最も大きかった平均電力をそれぞれ比べると、8 枚羽根の風速 5[m/s]において、カバー付きが 444.88[mW]、カバーなしが 351.09[mW]でカバーなしの 127.9[%]になることが分かった。やはり、風を逃がさずに受けたほうが良いという結果だった。

今回の実験結果から、製作した発電機は 1[m/s]でも発電が可能であることが分かった。山形の平均風速は約 2[m/s]なので、山形市でも

今回開発した小型垂直軸型風車で発電でき、エネルギーを地産地消できる可能性を見出すことができたと考える。

しかし課題として、まずは風速をあげて実験すべきであると考えた。なぜならば、今回はテープで止めた部分が多く、構造に不安があるからである。その問題を解決したうえで、風速6[m/s]~12[m/s]の実験をしたい。後日わかったことで、本来ならば整流した風で風洞の中で実験をしなければならなかった。

また、自然環境下での測定も行ってみたい。そのためには、羽根やアタッチメントの素材を耐水性のものにしたり、ハブダイナモと軸を固定する部分を頑強なものにする必要がある。

さらに、実用化するには、バッテリーを接続し、風があるときでもない時でも電気を供給するシステムを取り付けていかなければならない。これらの問題を解決することで、実際に使用できるものになっていくと考える。本校は、災害時の避難所にもなっており、そんな時にスマートフォンなどの充電ができるようになると思う。

まだまだ、課題は多いが、持続可能な社会を作っていくために本研究を進めていきたいと思う。

参考文献

ネオマグ

<https://www.neomag.jp/mailmagazines/topics/letter201204.html>

一般財団法人新エネルギー財団

<https://www.nef.or.jp/energy/windpower>

外務省

<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/odasdg/about/index.html>

国土交通省 気象庁

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=35&block_no=&year=&month=&day=&view=